

533 Rec'd PCT/PTO 13 AUG 2001

● 9/913394

INTERNATIONAL APPLICATION  
PCT/DE00/04089

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION OF THE RECORDING  
OF A CHANGE(PCT Rule 92bis.1 and  
Administrative Instructions, Section 422)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

EPPING HERMANN & FISCHER GBR  
Postfach 12 10 26  
80034 München  
ALLEMAGNE

Date of mailing (day/month/year) 29 juin 2001 (29.06.01)	<b>IMPORTANT NOTIFICATION</b>
Applicant's or agent's file reference P1999,0003 P	
International application No. PCT/DE00/04089	International filing date (day/month/year) 20 novembre 2000 (20.11.00)

## 1. The following indications appeared on record concerning:

☒ the applicant      ☒ the inventor      ☐ the agent      ☐ the common representative

## Name and Address

WEIMAR, Andreas  
Rilkestrasse 32  
93049 Regensburg  
Germany

## State of Nationality

DE

## State of Residence

DE

Telephone No.

Facsimile No.

Teleprinter No.

## 2. The International Bureau hereby notifies the applicant that the following change has been recorded concerning:

☐ the person      ☐ the name      ☐ the address      ☐ the nationality      ☐ the residence

## Name and Address

## State of Nationality

## State of Residence

Telephone No.

Facsimile No.

Teleprinter No.

## 3. Further observations, if necessary:

**Additional applicant/inventor for US.**

## 4. A copy of this notification has been sent to:

☒ the receiving Office      ☒ the designated Offices concerned  
☐ the International Searching Authority      ☐ the elected Offices concerned  
☐ the International Preliminary Examining Authority      ☐ other:
The International Bureau of WIPO  
34, chemin des Colombettes  
1211 Geneva 20, Switzerland

Authorized officer

Simin Baharlou

Facsimile No.: (41-22) 740.14.35

Telephone No.: (41-22) 338.83.38

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

5000  
09/9/3394

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Mai 2001 (31.05.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/39282 A3

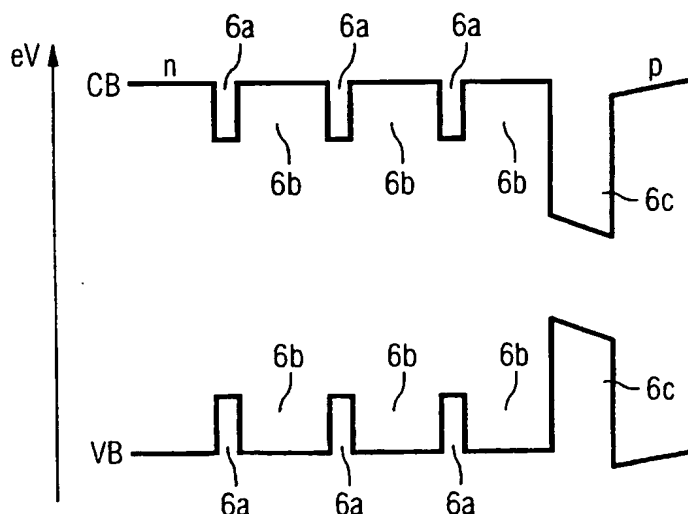
(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 33/00  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/04089  
(22) Internationales Anmeldedatum:  
20. November 2000 (20.11.2000)  
(25) Einreichungssprache: Deutsch  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität:  
199 55 747.0 19. November 1999 (19.11.1999) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH &  
CO. OHG [DE/DE]; Wernerwerkstrasse 22, 93049 Re-  
gensburg (DE).

(72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HÄRLE, Volker  
[DE/DE]; Eichenstrasse 35, 93164 Laaber (DE). HAHN,  
Berthold [DE/DE]; Am Pfannenstiel 2, 93155 Hemau  
(DE). LUGAUER, Hans-Jürgen [DE/DE]; Tannenweg  
14, 93173 Wenzelbach (DE). BOLAY, Helmut [DE/DE];  
Blumenstrasse 36, 93186 Pettendorf (DE). BADER,  
Stefan [DE/DE]; Deutschherrnweg 2, 93053 Regensburg  
(DE). FEISERT, Dominik [DE/DE]; Agricolaweg 11,  
93049 Regensburg (DE). STRAUSS, Uwe [DE/DE];  
Erich-Kästner-Strasse 32, 93077 Bad Abbach (DE).  
VÖLKL, Johannes [DE/DE]; Hofer Strasse 4, D-91056  
Erlangen (DE). ZEHNDER, Ulrich [DE/DE]; Augusten-  
strasse 11, 93049 Regensburg (DE). LELL, Alfred  
[DE/DE]; Virchowstrasse 19, 93142 Maxhütte-Haidhof  
(DE). WEIMAR, Andreas [DE/DE]; Rilkestrasse 32,  
93049 Regensburg (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE COMPRISING A MULTIPLE QUANTUM WELL STRUCTURE

(54) Bezeichnung: OPTISCHE HALBLEITERVORRICHTUNG MIT MEHRFACH-QUANTENTOPF-STRUKTUR



(57) Abstract: The invention relates to an optical semiconductor device comprising a multiple quantum well structure, in which well layers and barrier layers consisting of different types of semiconductor layers are stacked alternately on top of one another. The invention is characterised in that the well layers (6a) have a first composition, based on a nitride semiconductor material with a first electron energy and the barrier layers (6b) have a second composition based on a nitride semiconductor material with a higher electron energy in relation to the first electron energy. An active radiative quantum well layer (6c) is located downstream of said layers in the epitaxial direction and the essentially non-radiative well layers (6a) positioned upstream, together with the barrier layers (6b) form a superlattice for said active quantum well layer.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/39282 A3



(74) **Anwalt:** EPPING HERMANN & FISCHER GBR:  
Postfach 12 10 26, 80034 München (DE).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** CA, JP, KR, US.

(88) **Veröffentlichungsdatum des internationalen**

**Recherchenberichts:**

6. Dezember 2001

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

(57) **Zusammenfassung:** Optische Halbleitervorrichtung mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Barrierschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd aufeinander geschichtet sind, wobei Topfschichten (6a) einer ersten Zusammensetzung auf der Basis eines Nitrid-Halbleitermaterials mit einer ersten Elektronenenergie und Barrierschichten (6b) einer zweiten Zusammensetzung eines Nitrid-Halbleitermaterials mit gegenüber der ersten Elektronenenergie höheren Elektronenenergie vorgesehen sind, denen in Aufwuchsrichtung gesehen eine strahlungsaktive Quantentopfschicht (6c) nachgeordnet ist, für die die vorgeordneten im Wesentlichen nicht strahlenden Topfschichten (6a) und die Barrierschichten (6b) ein Übergitter bilden.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No

PCT/DE 00/04089

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H01L33/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

INSPEC, EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 14, 31 December 1998 (1998-12-31) -& JP 10 242512 A (TOSHIBA CORP), 11 September 1998 (1998-09-11) paragraphs '0042!-'0083!	1,3-7
A	---	2,8,10
X	US 5 831 277 A (RAZEGHI M) 3 November 1998 (1998-11-03)	1,3-5
A	the whole document	2,6-8,10
X	---	1,3-5
P,X	WO 98 31055 A (NICHIA CHEMICAL IND) 16 July 1998 (1998-07-16) -& EP 1 017 113 A (NICHIA CHEMICAL IND) 5 July 2000 (2000-07-05) paragraphs '0061!-'0248!	1,3-5
	---	
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 May 2001

Date of mailing of the international search report

21/05/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

van der Linden, J.E.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 00/04089

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 731 510 A (SHARP KK) 11 September 1996 (1996-09-11) column 15, line 54 -column 16, line 17 ----	1,2,4-6
A	EP 0 908 988 A (SHARP KK) 14 April 1999 (1999-04-14) the whole document ----	1,3,6
A	US 5 684 309 A (ROBERTS J ET AL) 4 November 1997 (1997-11-04) the whole document ----	1,2
A	EP 0 833 395 A (CANON KK) 1 April 1998 (1998-04-01) example 4 -----	10-12



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. .ional Application No

PCT/DE 00/04089

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 10242512 A	11-09-1998	NONE	
US 5831277 A	03-11-1998	WO 9842024 A	24-09-1998
WO 9831055 A	16-07-1998	JP 11177175 A	02-07-1999
		AU 5342098 A	03-08-1998
		CN 1249853 T	05-04-2000
		EP 1017113 A	05-07-2000
		JP 10335757 A	18-12-1998
		US 6172382 B	09-01-2001
EP 0731510 A	11-09-1996	GB 2298735 A	11-09-1996
		JP 8250810 A	27-09-1996
		US 5747827 A	05-05-1998
EP 0908988 A	14-04-1999	JP 11112087 A	23-04-1999
		JP 11274644 A	08-10-1999
US 5684309 A	04-11-1997	US 5851905 A	22-12-1998
EP 0833395 A	01-04-1998	JP 10152399 A	09-06-1998
		US 6046096 A	04-04-2000



PCT/DE 00/04089

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )**

IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

INSPEC, EPO-Internal, PAJ

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
------------	--	--------------------

X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 14, 31. Dezember 1998 (1998-12-31) -& JP 10 242512 A (TOSHIBA CORP), 11. September 1998 (1998-09-11) Absätze '0042!-'0083!	1,3-7
A	---	2,8,10
X	US 5 831 277 A (RAZEGHI M) 3. November 1998 (1998-11-03) das ganze Dokument	1,3-5
A	---	2,6-8,10
X	WO 98 31055 A (NICHIA CHEMICAL IND) 16. Juli 1998 (1998-07-16) -& EP 1 017 113 A (NICHIA CHEMICAL IND) 5. Juli 2000 (2000-07-05) Absätze '0061!-'0248!	1,3-5
P,X		1,3-5

-/-

**Y** Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \* A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \* E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \* L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \* O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \* P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

*T	Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
*X	Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
*Y	Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist
*&	Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Mai 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/05/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

van der Linden, J.E.

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. nationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/04089

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 731 510 A (SHARP KK) 11. September 1996 (1996-09-11) Spalte 15, Zeile 54 -Spalte 16, Zeile 17 ----	1,2,4-6
A	EP 0 908 988 A (SHARP KK) 14. April 1999 (1999-04-14) das ganze Dokument ----	1,3,6
A	US 5 684 309 A (ROBERTS J ET AL) 4. November 1997 (1997-11-04) das ganze Dokument ----	1,2
A	EP 0 833 395 A (CANON KK) 1. April 1998 (1998-04-01) Beispiel 4 -----	10-12

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/04089

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 10242512 A	11-09-1998	KEINE	
US 5831277 A	03-11-1998	WO 9842024 A	24-09-1998
WO 9831055 A	16-07-1998	JP 11177175 A	02-07-1999
		AU 5342098 A	03-08-1998
		CN 1249853 T	05-04-2000
		EP 1017113 A	05-07-2000
		JP 10335757 A	18-12-1998
		US 6172382 B	09-01-2001
EP 0731510 A	11-09-1996	GB 2298735 A	11-09-1996
		JP 8250810 A	27-09-1996
		US 5747827 A	05-05-1998
EP 0908988 A	14-04-1999	JP 11112087 A	23-04-1999
		JP 11274644 A	08-10-1999
US 5684309 A	04-11-1997	US 5851905 A	22-12-1998
EP 0833395 A	01-04-1998	JP 10152399 A	09-06-1998
		US 6046096 A	04-04-2000

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT  
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts	WEITERES VORGEHEN	siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5
P1999,0003 P		
Internationales Aktenzeichen	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr)	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)
PCT/DE 00/04089	20/11/2000	19/11/1999
Anmelder		
OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH & CO. OHG et al.		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 3 Blätter.

☒ Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. Grundlage des Berichts

- a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.
- ☐ Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.
- b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das
- ☐ in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.
- ☐ zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- ☐ bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.
- ☐ bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- ☐ Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.
- ☐ Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen (siehe Feld I).

3. ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).

4. Hinsichtlich der **Bezeichnung der Erfindung**

- ☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
- ☐ wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

5. Hinsichtlich der **Zusammenfassung**

- ☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
- ☐ wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

6. Folgende Abbildung der Zeichnungen ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 2

- ☐ wie vom Anmelder vorgeschlagen ☐ keine der Abb.
- ☐ weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.
- ☒ weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## Beschreibung

Optische Halbleitervorrichtung mit Mehrfach-Quantentopf-Struktur

5

Die Erfindung betrifft eine optische Halbleitervorrichtung mit Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Barrierschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd geschichtet sind.

10

Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus der EP 0 666 624 B1 oder aus Journal of Crystal Growth 189/190 (1998) p. 786-789 bekannt.

15

Der hohe Quantenwirkungsgrad von Indium-Gallium-Nitrid-(InGaN-) -basierten LEDs und Laserdioden wird durch das selbstorganisierte Wachstum indiumreicher Inseln im aktiven Quantentrog oder Quantentopf verursacht. Dadurch werden die injizierten Ladungsträger räumlich an diesen Inseln lokalisiert und von nichtstrahlender Rekombination an Gitterdefekten abgehalten.

20

Die Nukleation dieser Quantenpunkte muß durch geeignete Pufferschichten eingeleitet werden. Insbesondere eignen sich indiumhaltige Strukturen vor der eigentlichen aktiven Zone als Pufferschicht. Indiumhaltige nitridische Halbleiter ( $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-(x+y)}\text{N}$ -Halbleiter) neigen zur Entmischung und Bildung von indiumhaltigen Phasen. Dies führt an der Wachstums Oberfläche zu variierenden Spannungsfeldern, die die Bildung indiumreicher Inseln im aktiven Quantentrog begünstigt. Ca. 100 nm dicke GaInN-Schichten können vor der aktiven Zone abgeschieden werden, um die GaInN-Quantenpunkt-Nukleation zu verbessern.

25

30

Bisher kann ein optimaler Wirkungsgrad mit z. B. 2- bis 10-fach-Quantentopf-Strukturen erreicht werden. Wie experimentell gezeigt werden kann, werden die emittierten Photonen ausschließlich in den beiden obersten (d.h. der p-Seite nächsten) Quantentrögen erzeugt. Bei geeigneter Wahl der Wachstumsparemeter wird erreicht, daß die Emission ausschließlich im obersten der Quantentöpfe erfolgt. Die unteren Quantentöpfe dienen zur Verbesserung der Nukleation der GaInN-Inseln im obersten Quantentopf. Wird auf sie verzichtet, so sinkt die optische Ausgangsleistung um über 50 % ab. Allerdings führen diese Quantentöpfe zu einer erheblichen Erhöhung der Flußspannung. Die Flußspannung kann durch Verringern der Topfanzahl auf Kosten der Quanteneffizienz verbessert werden. Die Piezofelder, die zur beobachteten Erhöhung der Flußspannung führen, können durch hohe Dotierniveaus im Quantentopfbereich kompensiert werden. Dadurch wird allerdings die Kristallqualität der aktiven Schicht gestört bzw. das Injektionsverhalten verschlechtert und so die interne Quanteneffizienz verringert.

20

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Halbleitervorrichtung der eingangs genannten Art demgegenüber zu verbessern.

25 Diese Aufgabe löst die Erfindung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

Erfindungsgemäß ist eine Mehrfach-Quantentopf-Struktur mit Topfschichten und Barrierschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten, die abwechselnd aufeinander geschichtet sind, vorgesehen, in der die Topfschichten dünne Schichten einer ersten Zusammensetzung auf der Basis eines Nitrid-Halbleitermaterials mit einer ersten Elektronenenergie

und die Barriereschichten demgegenüber dickere Schichten einer zweiten Zusammensetzung eines Nitrid-Halbleitermaterials mit gegenüber der ersten Elektronenenergie höheren Elektronenenergie sind. Als strahlungsaktiver Quantentopf wirkt, in Aufwachsrichtung gesehen, erst eine der letzten Quantentopfschichten oder die letzte Quantentopfschicht. Für diese bilden die vorgeordneten Topfschichten, die im Wesentlichen nicht strahlen, und die Barriereschichten ein Übergitter aus.

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung sind im Übergitter die Topfschichten dünne Aluminium-Gallium-Indium-Nitrid-Schichten und die Barriereschichten demgegenüber dickere Gallium-Nitrid-Schichten und weist der aktive Quantentopf Indium-Gallium-Nitrid auf.

Bevorzugt nimmt innerhalb mindestens einer Topfschicht des Übergitters der In-Gehalt in Aufwachsrichtung, d. h. in Richtung zur strahlungsaktiven Quantentopfschicht hin, zu. Vorzugsweise liegt hierbei der Indium-Gehalt entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht unterhalb 5%.

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung weist mindestens eine der Topfschichten des Übergitters mindestens ein Einzelschichtenpaar auf, von dem die in Aufwachsrichtung erste Einzelschicht einen geringeren Indium-Gehalt aufweist als die in Aufwachsrichtung zweite Einzelschicht. Vorzugsweise weist diese Topfschicht eine Mehrzahl von Einzelschichten auf, deren Indium-Gehalt ausgehend von der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht liegenden Einzelschicht zur zu der strahlungsaktiven Quantentopfschicht nächstliegenden Einzelschicht hin stufenweise zunimmt. Die Stufen der Zunahme des Indium-Gehalts sind besonders bevorzugt kleiner 5%. Weiterhin besonders bevorzugt ist der In-

dium-Gehalt der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht liegenden Einzelschicht kleiner als 5%. Vorteilhafterweise liegt die Dicke der Einzelschichten im Bereich weniger Monolagen besonders bevorzugt etwa eine Monolage.

Der besondere Vorteil der stufenweisen Zunahme des In-Gehalts besteht darin, daß ein Potentialverlauf entsteht, der einem Dreieckspotential ähnlich ist, insbesondere für den Fall, dass die Dicke der Einzelschichten die einer Monolage nicht wesentlich übersteigt. Folglich ist der Unterschied des Energieniveaus in den Barrierschichten und dem sich für ein Elektron ergebenden Energieniveau in der Topfschicht nicht größer als bei einer rechteckigen Topfschicht mit wesentlich geringerem Indium-Gehalt als die oberste Einzelschicht der gestuften Topfschicht. Dadurch wird erreicht, dass die Vorteile eines reduzierten Gesamt-Indium-Gehalts beibehalten werden, aber gleichzeitig durch den hohen Indium-Gehalt der letzten Einzelschicht die Verspannung so beeinflusst wird, dass die Nukleation von InGaN-reichen Phasen verbessert und somit die Quanteneffizienz gesteigert wird.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus folgendem: Das epitaktische Wachstum von Indium-haltigen III-V-Halbleitern (z. B. InGaAs, InGaN) wird durch den relativ großen Atomradius des Indiums erschwert. Bei konstanten Flüssen der Gruppe III-Komponenten baut sich Indium daher verzögert ein. Die Indiumkonzentration steigt während des Wachstums an und nähert sich exponentiell einem Gleichgewichtswert an. Während der Anreicherungsphase bildet sich auf der Wachstumsoberfläche eine bestimmte Indium-Bedeckung. Erst wenn diese Bedeckung erreicht ist, wird gleichbleibend viel Indium in den Kristall eingebaut. Wird allerdings zu viel Indium angeboten, formt das auf

der Oberfläche vorhandene Indium metallische Tröpfchen, die die Qualität der abgeschiedenen Schichten vermindern. Vor allem aber erzeugen solche Indium-Tröpfchen am p-n-Übergang Nebenschlüsse, die neben der Quanteneffizienz auch die Stabilität gegenüber elektrostatischer Entladung (ESD) vermindern. Diese Effekte werden dadurch vermindert, daß zunächst Indiumhaltige Schichten mit geringem Indium-Gehalt, bevorzugt weniger als 5%, abgeschieden werden, um dann bei darauffolgenden Schichten den Indiumgehalt zu steigern. Bei der aktiven Schicht selbst ist der Unterbau durch die Topfschichten dann schon derart vorbereitet, dass InGa<sub>N</sub>-Zusammensetzungen mit höherem Indium-Gehalt abgeschieden werden können.

Die Nukleation von Indium-reichen Phasen wird durch den sich erhöhenden Indium-Gehalt in der oder den Topfschichten vorteilhafterweise verbessert. Die schädliche Ausbildung von Indium-Tröpfchen wird zumindest erheblich vermindert.

Weitere vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels mit Hilfe der Figuren der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1a,b eine schematische Darstellung des Schichtaufbaus einer Vorrichtung gemäß der Erfindung,

Figur 2 eine schematische Darstellung der Quantentopfstruktur der Vorrichtung gemäß Figur 1,

Figur 3 eine schematische Darstellung der Quantentopfstruktur üblicher Art, und

Figur 4 eine schematische Darstellung des Verlaufs des Leitungsbandes gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

5 Gemäß Figur 1a ist auf einem Substrat 1 aus Siliziumcarbid (SiC), an dem eine erste Kontakt-Elektrode 2 angeschlossen ist, zunächst eine Pufferschicht 3 aus Aluminium-Gallium-Nitrid (AlGaN) gebildet. Darüber schließt sich eine weitere Schicht 4 aus Aluminium-Gallium-Nitrid an. Über der Schicht 4  
10 sind eine weitere Pufferschicht 5 aus Silizium-dotiertem Galliumnitrid und darüber ist die noch näher zu erläuternde Quantentopf-Struktur 6a,b angeordnet, an die die eigentliche aktive Schicht 6c anschließt. Über der aktiven Schicht 6 ist eine weitere Schicht 7 aus Aluminium-Gallium-Nitrid angeordnet,  
15 net, die als Elektronenbarriere dient. Vorzugsweise ist diese Schicht 7 mit Magnesium dotiert. Zwischen den Schichten 6 und 7 kann eine weitere nicht gezeichnete GaN-Schicht angeordnet sein. Über der Schicht 7 ist eine Galliumnitrid-Schicht 8 angeordnet, auf der eine zweite Kontakt-Elektrode 9 der Vor-  
20 richtung vorgesehen ist.

Die rechte Seite des Schichtaufbaus zeigt schematisch angedeutet die Bandlücke der einzelnen Schichten zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband.

25

Funktionell dient die Pufferschicht 3 als Wachstumsschicht, die erforderlich ist, um auf dem Siliziumcarbid-Substrat 1 die LED-Struktur aufwachsen zu können. Die weitere Aluminium-Gallium-Nitrid-Schicht 4 zwischen den Schichten 3 und 5 hat  
30 einen sich in Richtung der Gallium-Nitrid-Schicht 5 hin ändernden Aluminiumgehalt. Die Gallium-Nitrid-Schicht 5 ist vorzugsweise siliziumdotiert. Die über der aktiven Schicht 6

angeordnete Schicht 7 aus magnesisumdotiertem Aluminium-Gallium-Nitrid dient als Elektronenbarriere.

Dieser grundsätzlicher Aufbau der Figur 1a kann standardmäßig für Gallium-Aluminium-Indium-Nitrid (LEDs) verwendet werden.

Figur 1b ist eine vergrößerte Darstellung der aktiven Schicht 6 gemäß der Erfindung. Die Schicht mit der Quantentopf-Struktur 6 ist aufgebaut, indem zwischen einzelnen Gallium-Nitrid- (GaN-) Schichten 6b Schichten 6a aus Gallium-Indium-Nitrid (GaInN) angeordnet sind. Die eigentlich aktive, d.h. lichtabstrahlende Schicht 6c aus Gallium-Indium-Nitrid (GaInN) schließt sich an die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b an.

Wie ersichtlich, wechseln sich unterschiedlich dicke Schichten 6a und 6b ab. Die dünneren Schichten 6a aus Indium-Gallium-Nitrid und die dickeren Schichten 6b aus Gallium-Nitrid bilden dabei Übergitter, bei denen die Töpfe 6a dünn sind, d. h. dünner als 3 nm und die Schichten 6b 3nm und darüber. Die Herstellung der Schichten erfolgt durch Gasphasen- oder Molekularstrahlepitaxie. Dabei ist ein langsames Wachstum von 1-10 nm/min, bevorzugt 1-2nm/min, bei niedrigen Temperaturen um 700 C° vorgesehen.

Der Indiumgehalt liegt unter 24%, vorzugsweise jedoch unter 20 % und ist deshalb vorzugsweise gegenüber üblichen Indiumgehalten reduziert. Die in der Figur nur einmal gezeichneten Schichten 6a und 6b können mehrmals übereinander angeordnet sein, vorzugsweise wiederholt sich die Struktur x=3mal. An die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b schließt sich die eigentlich aktive, d. h. leuchtende Schicht 6c aus Indium-Gallium-Nitrid an.

Vorzugsweise kann vorgesehen sein, die Quantentopfstruktur 6a, 6b mit Silizium in der Konzentration  $10^{17}$  bis  $10^{18}\text{cm}^{-3}$  zu dotieren. Damit ergibt sich noch einmal eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu einer undotierten Struktur.

5

Figur 2 zeigt die Energieverhältnisse für das Valenzband VB und das Leitungsband CB. In Ordinatenrichtung ist die Elektronenenergie aufgetragen, in Abszissenrichtung sind die Quantentöpfe mit einer Breite, die der Schichtdicke entsprechen, aufgetragen. An die oberste Gallium-Nitrid-Schicht 6b schließt sich die tatsächlich aktive Schicht 6c an.

10

Figur 3 zeigt demgegenüber das Valenzband mit dickeren Quantentöpfen aus Gallium-Indium-Nitrid als bei der Erfindung.

15

Durch die Schrägen angedeutet, ist der Effekt der piezoelektrischen Felder, die sich durch die Verspannungen ergeben.

Durch die erfindungsgemäße Verwendung von GaInN/GaN-Übergittern mit dünnen Töpfen (bis ca. 2 nm Quantentopfbreite) bei einem Schichtaufbau gemäß Figur 1 und Quantentopf-Verhältnissen gemäß Figur 2 kann die Flußspannung deutlich gesenkt werden und dabei die hohe interne Quanteneffizienz der Indium-Gallium-Nitrid-basierten optischen Halbleitervorrichtung erhalten werden. Die sich sonst ausbildenden Piezofelder werden ganz vermieden oder wirken sich praktisch nicht mehr aus. Im Vergleich zu herkömmlichen Einfach-Quantentopf-Strukturen, bei denen vor dem aktiven Topf kein Gallium-Indium-Nitrid-Übergitter abgeschieden wird, zeigt der erfindungsgemäße Vorrichtungsaufbau einen verdoppelten Konversionswirkungsgrad.

20

25

30

Unter Übergitter versteht man allgemein eine insbesondere periodische Aufeinanderfolge von nur wenigen Atomlagen dicken Schichten. Das Übergitter wird vom aktiven Trog durch eine



GaN- oder AlGaN-Barriere getrennt ( $>3\text{nm}$ ). Die Silizium-Dotierung der Quantentopfstruktur ist deutlich verbessert im Vergleich zur undotierten Struktur.

- 5 Im Vergleich mit bekannten Übergitterstrukturen hat der erfindungsgemäße Vorrichtungsaufbau eine um  $>0,5\text{V}$  gesenkte Flußspannung.

10 Im Vergleich zu SQW(Single Quantum Well)-Strukturen, vor deren aktivem Quantentopf kein GaInN Übergitter abgeschieden wurden, konnte der Konversionswirkungsgrad verdoppelt werden.

Durch die Kombination von dünnen, auch indiumarmen, optisch inaktiven Quantentrögen („Pre-Wells“) mit einem aktiven Quantentopf 6c kann das Emissionsverhalten der bisher bekannten Mehrfach-Quantentopf-Strukturen erhalten und die Flußspannung gesenkt werden. Die dünnen GaInN-Quantentöpfe verbessern die Qualität des aktiven Quantentopfs, während durch die geringe Schichtdicke der „Pre-Wells“ und ihrem niedrigen Indiumgehalt 20 die Ausbildung von störenden Piezofeldern verringert wird. Die Flußspannung wird daher durch diese Nukleationsschicht gegenüber einer SQW-Struktur nicht erhöht.

Die Figur 4 zeigt den Verlauf des Leitungsbandes in einer InGaN-Topfschicht 6a zwischen zwei GaN-Barriereschichten, wobei die GaN-Topfschicht 6a aus insgesamt 4 Einzelschichten 60a bis 63a besteht. Der Indium-Gehalt nimmt ausgehend von der am weitesten entfernt von einer strahlungsaktiven Quantentopfschicht 6c liegenden Einzelschicht 60a zu zu der strahlungsaktiven Quantentopfschicht 6c nächstliegenden Einzelschicht 63a hin stufenweise zu. Die Stufen der Zunahme des Indium-Gehalts sind kleiner 5% und der Indium-Gehalt der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopf-

30

schicht 6c liegenden Einzelschicht 60a ist kleiner als 5%. Die Schichtdicke jeder der Einzelschichten 60a bis 63a liegt im Bereich weniger Monolagen oder entspricht etwa einer Monolage der Zusammensetzung.

5

Dadurch entsteht ein Potentialverlauf, der einem Dreieckspotential ähnlich ist. Folglich ist der Unterschied des Energieniveaus in den Barriereschichten und dem sich für ein Elektron ergebenden Energieniveau in der gestuften Topf-

10 schicht nicht größer als bei einer rechteckigen Topfschicht (in der Figur auf der rechten Seite dargestellt) mit wesentlich geringerem Indium-Gehalt als die oberste Einzelschicht der gestuften Topfschicht. Dadurch wird erreicht, dass die Vorteile eines reduzierten Gesamt-Indium-Gehalts beibehalten  
15 werden, aber gleichzeitig durch den hohen Indium-Gehalt der letzten Einzelschicht die Verspannung so beeinflusst wird, dass die Nukleation von InGaN-reichen Phasen verbessert und somit die Quanteneffizienz gesteigert wird.

20 Die Beschreibung der Erfindung anhand des obigen Ausführungsbeispiels ist selbstverständlich nicht als Beschränkung der Erfindung hierauf zu verstehen. Die Erfindung bezieht sich vielmehr auch auf Vorrichtungen in anderen Materialsysteme, in denen gleichgelagerte Probleme zu lösen sind.

## Patentansprüche

1. Optische Halbleitervorrichtung mit einer Mehrfach-Quantentopf-Struktur, in der Topfschichten und Barriereschichten aus verschiedenen Arten von Halbleiterschichten abwechselnd aufeinander geschichtet sind, wobei Topfschichten (6a) einer ersten Zusammensetzung auf der Basis eines Nitrid-Halbleitermaterials mit einer ersten Elektronenenergie und Barriereschichten (6b) einer zweiten Zusammensetzung eines Nitrid-Halbleitermaterials mit gegenüber der ersten Elektronenenergie höheren Elektronenenergie vorgesehen sind, denen in Aufwachsrichtung gesehen eine strahlungsaktive Quantentopfschicht (6c) nachgeordnet ist, für den die vorgeordneten im Wesentlichen nicht strahlenden Topfschichten (6a) und die Barriereschichten (6b) ein Übergitter bilden.
2. Optische Halbleitervorrichtung nach Patentanspruch 1, bei der die Topfschichten (6a) dünne Aluminium-Indium-Gallium-Nitrid-Schichten und die Barriereschichten (6b) demgegenüber dickere Gallium-Nitrid- oder Aluminium-Gallium-Nitrid-Schichten sind und der strahlungsaktive Quantentopf (6c) eine Indium-Gallium-Nitrid-Schicht ist.
3. Optische Halbleitervorrichtung nach Patentanspruch 1 oder 2, bei der sich der strahlungsaktive Quantentopf (6c) an die oberste Barriereschicht (6b) anschließt.
4. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 3, bei der die Schichtdicke des strahlungsaktiven Quantentopfs (6c) größer ist als die Schichtdicke der Topfschichten (6a) des Übergitters.

5. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 4, bei der die Topfschichten (6a) dünner als 2nm sind und die Barrierschichten (6b) 3nm-dick oder dicker sind.

5

6. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 2 bis 5, bei der die Topf- und Barrierschichten (6a, 6b) mit Silizium dotiert sind.

10 7. Optische Halbleitervorrichtung nach Patentanspruch 6, bei der die Dotierstoffkonzentration von  $10^{17}$  bis  $10^{18}\text{cm}^{-3}$  ist.

8. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, bei der innerhalb mindestens einer Topfschicht (6a) des Übergitters der In-Gehalt in Aufwuchsrichtung, d. h. in Richtung zur strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) hin, zunimmt.

9. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 8, bei der in der Topfschicht (6a) der Indium-Gehalt entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht unterhalb 5% liegt.

10. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, bei der mindestens eine der Topfschichten (6a) des Übergitters mindestens ein Einzelschichtenpaar (60a, 61a) aufweist, von dem die in Aufwuchsrichtung erste Einzelschicht (60a) einen geringeren Indium-Gehalt aufweist als die in Aufwuchsrichtung zweite Einzelschicht (61a).

11. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10, bei der die zweite Einzelschicht (61a) einen um weniger als 5% höheren Indium-Gehalt aufweist als die erste Einzelschicht (60a).

12. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, bei der die Topfschicht eine Mehrzahl von Einzelschichten (60a, 61a, 62a, 63a) aufweist, deren Indium-Gehalt ausgehend von der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) liegenden Einzelschicht (60a) zur zu der strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) nächstliegenden Einzelschicht (63a) hin stufenweise zunimmt.

13. Optische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 12, bei der die Stufen der Zunahme des Indiumgehalts kleiner 5% sind.

14. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei der der Indium-Gehalt der am weitesten entfernt von der strahlungsaktiven Quantentopfschicht (6c) liegenden Einzelschicht (60a) kleiner als 5% ist.

15. Optische Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, bei der die Dicke jeder der Einzelschichten (60a, 61a, 62a, 63a) im Bereich weniger Monolagen liegt oder etwa einer Monolage entspricht.

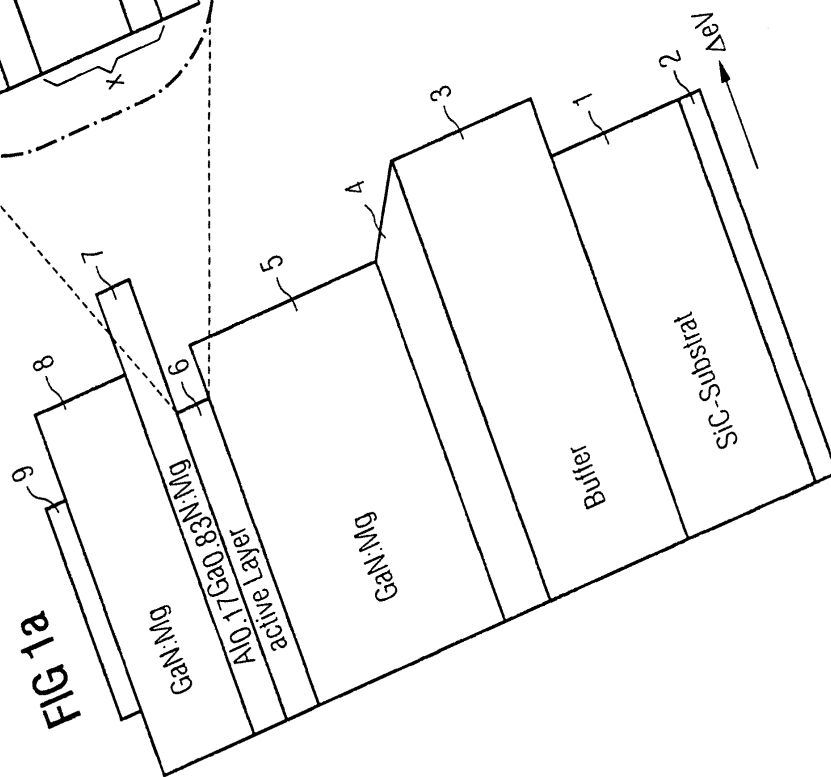
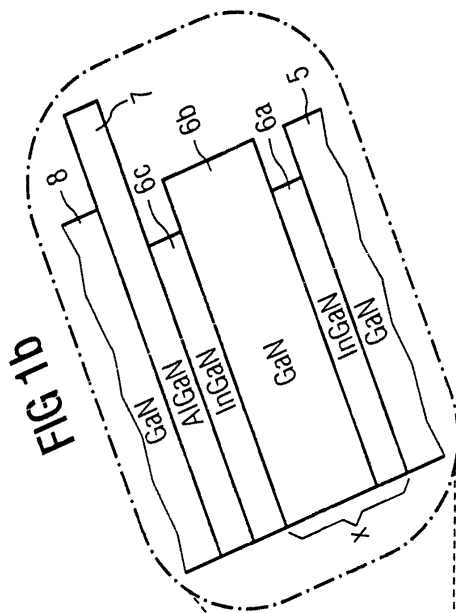


1

2

3

4





4

4

4

4



FIG 2

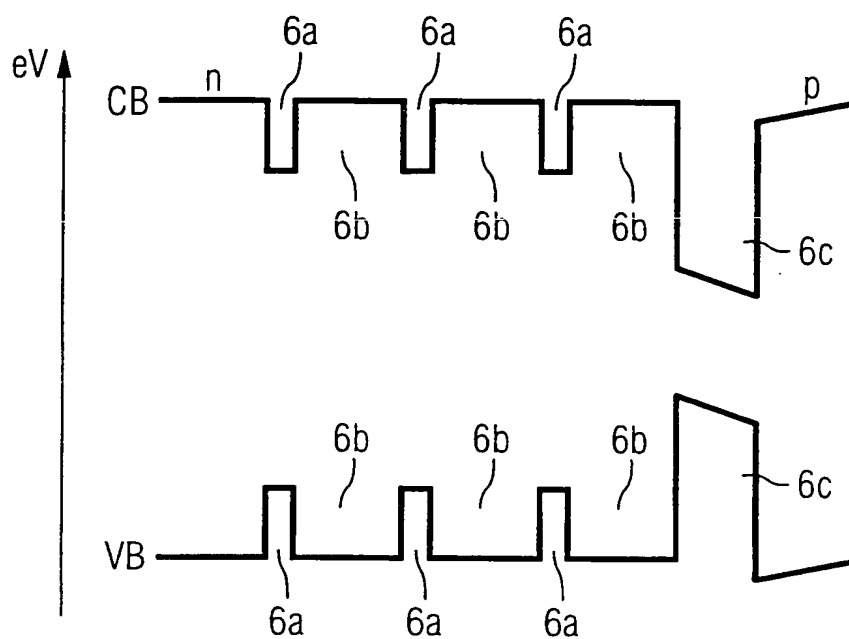
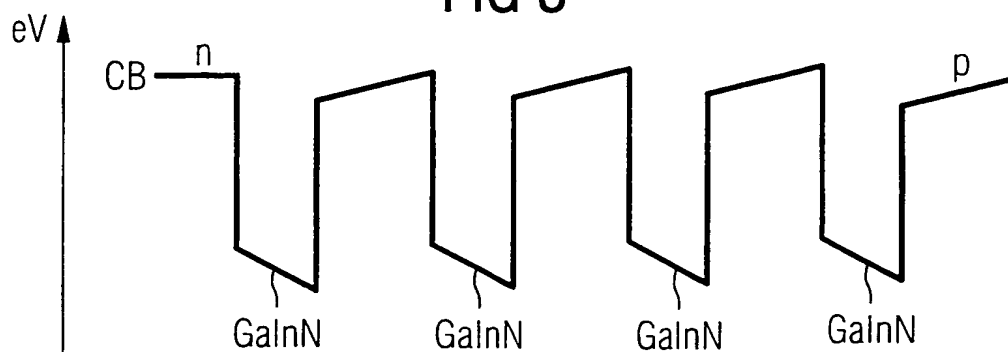


FIG 3



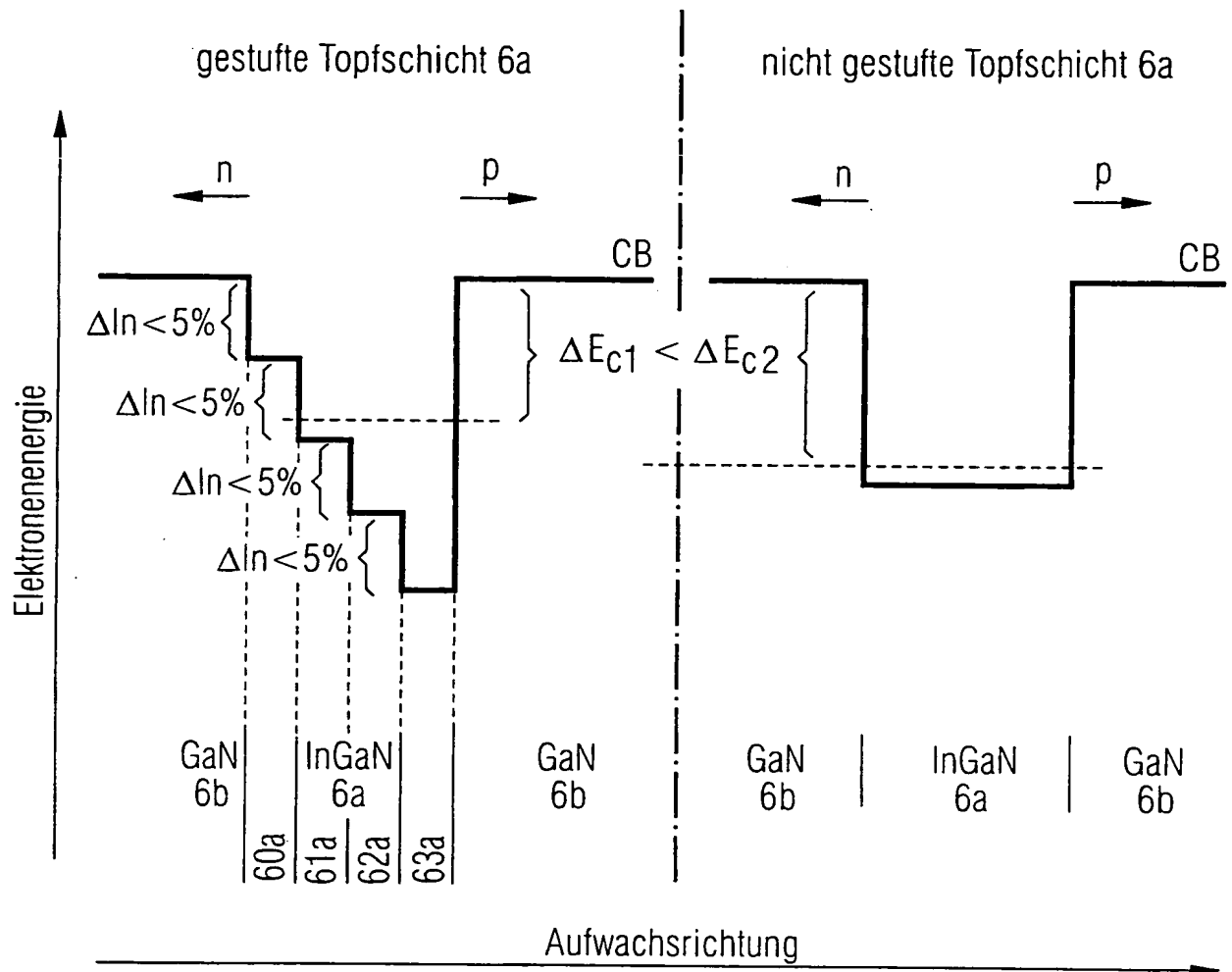
1

2

3

4

FIG 4



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**